ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
INFORMATION TECHNOLOGY, COMPUTER SCIENCE, AND MANAGEMENT



УДК: 004.932.2 10.23947/1992-5980-2017-17-4-97-106

Идентификация телевизионных изображений системы технического зрения на основе математического аппарата кубических нормализованных B-сплайнов[*]

В. А. Крутов[1], Д. А. Безуглов[2], О. В. Швачко[3]**

[1] Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Донского государственного технического университета, г. Шахты, Ростовская область, Российская Федерация

[2] Ростовский филиал Российской таможенной академии, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

[3] Федеральное казенное учреждение Научно-производственное объединение «Специальная техника и связь» Министерства внутренних дел Российской Федерации, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Identification of television images in vision systems based on mathematical apparatus of cubic normalized B-splines[***]

V. A. Krutov[1], D. A. Bezuglov[2], O. V. Shvachko[3]**

[1] Institute of Service and Business (DSTU branch), Shakhty, Rostov Region, Russian Federation

[2]Russian Customs Academy, Rostov Branch, Rostov-on-Don, Russian Federation

3Scientific and Production Association "Special Equipment and Telecoms", Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. Статья посвящена решению задачи идентификации телевизионных изображений при создании автономных роботов, систем технического зрения и систем анализа изображений с помехами. Речь идет, например, о сложных условиях наблюдения, затрудняющих процесс регистрации, и об отсутствии априорных сведений относительно вида фоновых шумов. Цель исследования — разработка и оценка эффективности метода выделения контуров изображения (двумерного сигнала) на фоне импульсных шумов с использованием математического аппарата кубических B-сплайнов.

Материалы и методы. При наличии интенсивных фоновых шумов сплайн-аппроксимация дискретных значений сигналов и изображений, как правило, непродуктивна и приводит к большим погрешностям. При этом метод дифференцирования строки изображения на фоне шума позволяет с достаточной точностью вычислить производную сигнала. С учетом информации о поведении первой производной определены локальные максимумы в строке изображения на фоне шума. Задача выделения контуров телевизионных изображений решена новым методом сплайн-дифференцирования. Для этого матрица изображения разбита на строки и столбцы, выполнено дифференцирование, и затем вычислены операторы выделения контуров. В отличие от известных подходов при дифференцировании учтена информация об интенсивности во всей строке изображения. Это позволяет минимизировать влияние шума. Контуры изображения определены с использованием градиента интенсивности. Полученный алгоритм сплайн-дифференцирования использован для математического моделирования.

Результаты исследования. Авторы данной работы впервые предложили высокоточный метод цифрового дифференцирования двумерных сигналов. Такой подход позволяет с достаточно высокой точностью вычислять значения производной двумерного сигнала и его градиент. При этом нет необходи-

Introduction. The solution to the problem of television images identification under the creation of autonomous robots, vision systems, and noisy image analysis systems is considered. The question is, for example, on severe observing conditions hindering the registration process, and null aprior information on the type of background noise. The work objective is to develop and evaluate the efficiency of the method for image edge detection (two-dimensional signal) against the background of pulse noise using the mathematical apparatus of cubic B-splines.

Materials and Methods. Involving intense background noise, spline-approximation of discrete values of signals and images is usually unproductive and leads to raw errors. In this case, the method of differentiating the image line against the noise background allows calculating the signal derivative with sufficient accuracy. Taking into account the information on the behavior of the first derivative, local maxima in the image line against the noise background are defined. The task of television image edge detection is solved by a new technique of spline-differentiation. For this, the image matrix is divided into lines and columns; the differentiation is performed; and then the edge extraction operators are calculated. Unlike the known approaches, the differentiation takes into account data on the intensity in the whole image line. This minimizes the noise effect. Image edges are defined using an intensity gradient. The resulting spline-differentiation algorithm is used for mathematical modeling.

Research Results. The authors of the paper for the first time propose a high-precision method of digital differentiation of two-dimensional signals. This approach allows calculating values of the two-dimensional signal derivative and its gradient with sufficiently high accuracy. With that, there is no need to use

[*] Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

[**]E-mail: rostov_don@mail.ru, bezuglovda@mail.ru, stis-rostov6@mail.ru

[***]The research is done within the frame of the independent R&D.

мости пользоваться стандартными процедурами численного дифференцирования, которые сами по себе являются некорректными.
Тестовое изображение *Lena*, искаженное импульсными шумами «битые пиксели» и «соль-перец», обработано оператором *Собеля* и методом сплайн-дифференцирования. Значения $e_{ско}$, *SNR* и *SNRF* сведены в таблицы и проанализированы. Для тестового изображения *Lena* выигрыш в децибелах составил: по СКО $e_{ско}$ — 1,6÷2,7; по отношению пиковый сигнал/шум *SNR* — 8÷9,4; по отношению пиковый сигнал/шум по СКО фона *SNRF* — 11÷12.
Обсуждение и заключения. В условиях стремительного развития микропроцессорной техники по-новому применяются задачи, решаемые с помощью систем технического зрения. Это подтверждает актуальность исследований в области повышения эффективности и устойчивости методов и алгоритмов цифровой обработки двумерных сигналов. Эксперименты показали, что представленный метод имеет значительно более высокую помехоустойчивость, чем алгоритмы, основанные на стандартных процедурах дифференцирования.

standard numerical differentiation procedures which are incorrect in themselves. *Lena* test image distorted by pulse noises of "dead pixels" and "salt-pepper" is processed by the *Sobel* operator and the spline-differentiation method. Values of $e_{ско}$, *SNR* and *SNRF* are tabulated and analyzed. For the *Lena* test image, the gain in decibels was as follows: according to the *MSD* (mean-square deviation) — 1.6 ÷ 2.7; relative to peak signal/*SNR* noise ratio — 8 ÷ 9.4; relative to peak signal/ *MSD* noise of *SNRF* background — 11 ÷ 12.
Discussion and Conclusions. Under the conditions of rapid development of microtechnology, the problems solved with the help of vision systems take a new way of application. This proves the relevance of research in the field of increasing the efficiency and stability of methods and algorithms for digital processing of two-dimensional signals. The experiments show that the presented technique has considerably higher noise immunity than algorithms based on standard differentiation procedures.

Ключевые слова: двумерный сигнал, изображение, выделение контуров, сглаживающий кубический B-сплайн, импульсный шум.

Образец для цитирования: Крутов, В. А. Идентификация телевизионных изображений системы технического зрения на основе математического аппарата кубических нормализованных B-сплайнов / В. А. Крутов, Д. А. Безуглов, О. В. Швачко // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2017. — Т. 17, № 4. — С. 97–106.

Keywords: two-dimensional signal, image, edge detection, smoothing cubic B-spline, pulse noise.

For citation: V.A. Krutov, D.A. Bezuglov, O.V. Shvachko. Identification of television images in vision systems based on mathematical apparatus of cubic normalized B-splines. Vestnik of DSTU, 2017, vol. 17, no.4, pp. 97–106.

Введение. В последнее время интенсивно развиваются системы идентификации изображений. При этом значительно возрастает объем хранимой информации и ее достоверность. Соответственно, меняются требования к оперативности обработки и извлечения полезных данных из больших массивов изображений, полученных на фоне шумов различной интенсивности [1–5].

Идентификация телевизионных изображений используется в промышленности при создании автономных роботов, систем технического зрения и анализа изображений в сложных условиях наблюдения. Решению данной задачи могут мешать различные факторы, усложняющие процесс регистрации. Кроме того, отсутствуют априорные сведения о видах фоновых шумов. Это значит, что методы и алгоритмы обработки информации с датчиков изображения должны учитывать шумы различной природы. При этом известные подходы к решению таких задач предполагают предварительную фильтрацию двумерных сигналов, а затем решение задачи выделения контуров. При построении методов идентификации двумерных сигналов требуется априорное знание характеристик искажающих помех. На практике в большинстве случаев такая информация отсутствует или является приближенной. Для решения указанных задач необходимо создать новые математические методы описания и обработки двумерных сигналов, а также программное обеспечение, пригодное для решения конкретных задач [5–13].

Существующие методы и алгоритмы обработки двумерных сигналов и телевизионных изображений позволяют решить задачу достоверной обработки. При этом должно быть выполнено условие: задана априорная информация о процессе, что не всегда технически возможно [1–5]. Нетривиальным представляется решение задачи выделения контуров [4–18]. По сути, речь идет о цифровом дифференцировании двумерных сигналов, зарегистрированных на фоне шумов различной природы. Нетривиальность в данном случае обусловлена тем, что указанная задача является в общем случае некорректной. В современных информационных системах для решения задачи выделения контуров обычно используют методы численного дифференцирования или маски.

Материалы и методы. Методы, основанные на сплайнах, являются наиболее мощными средствами вычислительной математики. В практике обработки сигналов и изображений широко используется сплайн-аппроксимация их дискретных значений, что определяется свойством гладкости аппроксимирующей функции по производным на границах интервалов дискретизации [3, 4, 5].

Для выделения контуров изображений применяются различные маски, то есть, по сути, используют методы численного дифференцирования. Однако при наличии интенсивных фоновых шумов такой подход, как правило, непродуктивен и приводит к большим погрешностям [5]. Рассмотрим этот факт подробнее.

В ряде задач обработки сигналов непосредственному наблюдению доступен процесс $S(t)$, а информативным параметром является его производная $\frac{\partial S(t)}{\partial t}$. Известные методы численного дифференцирования будут удовлетворительно работать лишь для функций, заданных в точках с малой погрешностью.

Рассмотрим одно из широко используемых в практике разностных отношений для приближенного вычисления производной функции $S(t)$, например:

$$\frac{\partial S(t_k)}{\partial t} \approx S_{t,k} = \frac{S(t_k) - S(t_{k-1})}{h}, \tag{1}$$

где h — шаг, $S(t_k)$ — выборочные значения сигнала.

Возникающая в результате такой замены методическая погрешность аппроксимации характеризуется разложением:

$$S_{t,k} = \frac{\partial S(t_k)}{\partial t} - \frac{h}{2}\frac{\partial^2 S(\xi^{(j)}{}_k)}{\partial t^2}, \tag{2}$$

где $\xi^{(j)}{}_k,\, j = 1, 2, 3,$ — точки из интервала (t_{k-1}, t_{k+1}).

Погрешность, возникающая при вычислении разностных отношений, намного превосходит погрешность в задании значений функции $S(t_k)$ и даже может неограниченно возрастать при стремлении шага сетки h к нулю.

Операция численного дифференцирования в данном случае является некорректной. Это связано с тем, что для нахождения приближения $S_{t,k}$ к $\frac{\partial S(t_k)}{\partial t}$ необходимо, чтобы шаг h был малым. Задачу дифференцирования также можно решить с использованием полиномов Лагранжа, но для высокоточной аппроксимации придется использовать большие степени. Практического применения данный подход не нашел.

Применение предложенного в работах [6, 7] метода дифференцирования строки изображения на фоне шума позволяет с достаточной точностью вычислить производную сигнала. Имея информацию о поведении первой производной, можно определять локальные максимумы в строке изображения на фоне шума.

Первая производная сигнала с использованием предложенного нового метода сплайн-дифференцирования может быть найдена по следующей процедуре.

1. Выбирается коэффициент сглаживания (как правило, равен единице, при высоком уровне шума можно выбрать больший коэффициент).
2. Вычисляется матрица коэффициентов сглаживания.
3. Решается система линейных алгебраических уравнений с учетом коэффициентов сглаживания и значений входной реализации. Таким образом вычисляются коэффициенты сглаживающих кубических B-сплайнов.
4. С помощью кубических сглаживающих параболических B-сплайнов восстанавливается первая производная и исходный сигнал [6, 7].

Рассмотрим решение задачи выделения контуров телевизионных изображений с использованием нового метода сплайн-дифференцирования. Для этого матрицу изображения $S(i,j)$ разобьем на строки и столбцы, проведем дифференцирование методом, предложенным в [2], и затем вычислим операторы выделения контуров. В отличие от известных подходов при дифференцировании будет учитываться информация об интенсивности во всей строке изображения. Это позволяет минимизировать влияние шума.

Пусть задана матрица $S(i,j)$ черно-белого изображения размером $N \times N$. Примем следующие обозначения:

$$S_i = [s_{i1}, \dots, s_{ij}, \dots, s_{iN}] \text{ — } i\text{-я строка матрицы;} \tag{3}$$

$$S_j = \begin{pmatrix} s_{1j} \\ \vdots \\ s_{ij} \\ \vdots \\ s_{Nj} \end{pmatrix} \text{— } j\text{-й столбец;} \tag{4}$$

$S1_i = \frac{\partial S_i}{\partial x}$ — вектор-строка, полученная дифференцированием i-й строки матрицы $S(i,j)$;

$$\frac{\partial S(j)_i}{\partial x} = S1(j)_i \text{ — } j\text{-й элемент вектор-строки } S1_i = \frac{\partial S_i}{\partial x}; \tag{5}$$

$S1^j = \frac{\partial S^j}{\partial y}$ — вектор-столбец, полученный дифференцированием j-го столбца матрицы $s(i,j)$;

$$\frac{\partial S(i)^j}{\partial y} = S1(i)^j \text{— } i\text{-й элемент вектор-столбца } S1^j = \frac{\partial S^j}{\partial y}. \tag{6}$$

Тогда с учетом разработанного ранее метода сплайн-дифференцирования [2] выражения для производной по строкам и столбцам могут быть записаны в следующем виде:

$$\frac{\partial S_i}{\partial x}=\sum_{i=1}^{N-1}\left(\frac{\chi^2}{2h}(b_{i+2}-3b_{i+1}+3b_i-b_{i-1})+\frac{\chi}{h}(b_{i+1}-2b_i+b_{i-1})+\frac{1}{2h}(b_{i+1}-b_{i-1})\right), \tag{7}$$

$$\frac{\partial S^j}{\partial y}=\sum_{i=1}^{N-1}\left(\frac{\Upsilon^2}{2h}(b_{j+2}-3b_{j+1}+3b_j-b_{j-1})+\frac{\Upsilon}{h}(b_{j+1}-2b_j+b_{j-1})+\frac{1}{2h}(b_{j+1}-b_{j-1})\right). \tag{8}$$

Градиент интенсивности представляет собой вектор, не зависящий от выбора системы координат в том смысле, что он сохраняет свою величину и ориентацию по отношению к лежащему в основе образу, когда этот образ поворачивается или сдвигается. С использованием градиента могут быть определены контуры изображения.

Рассмотрим подробнее алгоритм сплайн-дифференцирования. Градиент интенсивности исследуемого изображения $G\ (S(I,j))$ запишем в виде:

$$G(S(i,j))=\left(\begin{array}{l}\left(\sum_{i=1}^{N-1}\left(\frac{\chi^2}{2h}(b_{i+2}-3b_{i+1}+3b_i-b_{i-1})+\frac{\chi}{h}(b_{i+1}-2b_i+b_{i-1})+\frac{1}{2h}(b_{i+1}-b_{i-1})\right)\right)^2+\\ \left(\sum_{j=1}^{N-1}\left(\frac{\Upsilon^2}{2h}(b_{j+2}-3b_{j+1}+3b_j-b_{j-1})+\frac{\Upsilon}{h}(b_{j+1}-2b_j+b_{j-1})+\frac{1}{2h}(b_{j+1}-b_{j-1})\right)\right)^2\end{array}\right)^{\frac{1}{2}}. \tag{9}$$

Данный алгоритм сплайн-дифференцирования будет использован далее для математического моделирования.

Результаты исследования. Наиболее распространенными видами помех являются случайный нормально распределенный аддитивный шум и импульсный шум, статистически независимый от сигнала. Модель импульсного шума хорошо описывает помехи, возникающие при передаче цифрового сигнала.

В работе использованы перечисленные ниже количественные критерии.

1. Среднеквадратическое отклонение $e_{ско}$:

$$e_{ско}=\sqrt{\frac{1}{MN}\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{M-1}\left(MK_{ij}-\hat{MK}_{ij}\right)^2}. \tag{10}$$

При этом в качестве тестового изображения *MK* использовалось изображение контуров, полученное из незашумленного исследуемого изображения детектором границ *Canny*. Соответствующая процедура имеется в программном пакете *Mathcad* 14. В дальнейшем на исходное изображение *S* накладывался импульсный шум двух видов: «битые пиксели» и «соль-перец». Далее проводилось определение контуров предложенным методом сплайн-дифференцирования и известным методом *Собеля*.

2. Отношение пиковый сигнал/шум *SNR*:

$$\mu=\frac{1}{MN}\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{M-1}\left(\hat{MK}_{ij}\right)^2, \tag{11}$$

$$SNR=\frac{255-\mu}{\sqrt{\frac{1}{MN}\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{M-1}\left(\hat{MK}_{ij}-\mu\right)^2}}, \tag{12}$$

где μ — среднее значение $\hat{MK}_{ij}$.

3. Отношение пиковый сигнал/шум *SNRF* с использованием в расчетах среднеквадратического отклонения (СКО) фона:

$$SNRF=\frac{255-\mu}{\sigma_{фон}}, \tag{13}$$

$$\sigma_{фон}=\sqrt{\frac{1}{\left(N_{фон}\right)^2}\sum_{i=n_1}^{n_1+N_{фон}}\sum_{j=m_1}^{m_1+N_{фон}}\left(\hat{MK}_{ij}-\mu_{фон}\right)^2}, \tag{14}$$

$$\mu_{фон}=\frac{1}{\left(N_{фон}\right)^2}\sum_{i=n_1}^{n_1+N_{фон}}\sum_{j=m_1}^{m_1+N_{фон}}\left(\hat{MK}_{ij}\right), \tag{15}$$

где $\sigma_{фон}$ — СКО фона; $\mu_{фон}$ — среднее значение фона; n_1, m_1 — координаты выбранной площадки фона размером $N_{фон} \times N_{фон}$ на исследуемом изображении $\hat{MK}_{ij}$.

Используя эти три критерия, можно оценить эффективность предложенного алгоритма по сравнению с известными методами. Для проверки адекватности разработанного алгоритма рассмотрим его функционирование на тестовом изображении размером 512×512, не подвергшемся воздействию шума [6,7].

Суть вычислительного эксперимента состояла в следующем. Исходное изображение *Lena*, представленное на рис. 1, *а*, было обработано детектором границ *Canny* из пакета *Mathcad* 14 (рис. 1, *б*). В дальнейшем с ним будут сравниваться все полученные изображения.



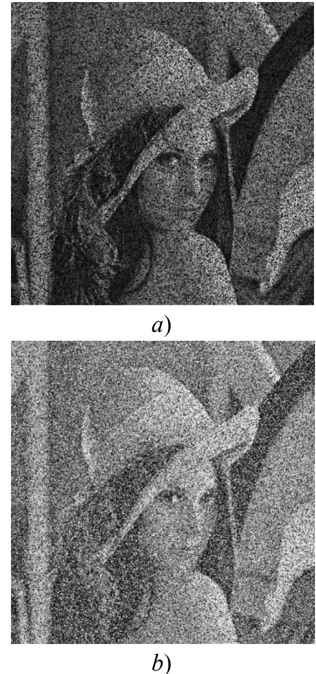
a)

b)

Рис. 1. Тестовое изображение: исходное (*a*); результат обработки тестового изображения детектором границ *Canny* (*b*)

Fig. 1. Test image: source (a); result of test image processing by Canny edge detector (b)

Затем тестовое изображение подвергалось воздействию двух видов импульсного шума: «битые пиксели» с вероятностью $p = 0{,}5$ (рис. 2, *а*); «соль-перец» с вероятностью $p = 0{,}5$ (рис. 2, *б*).



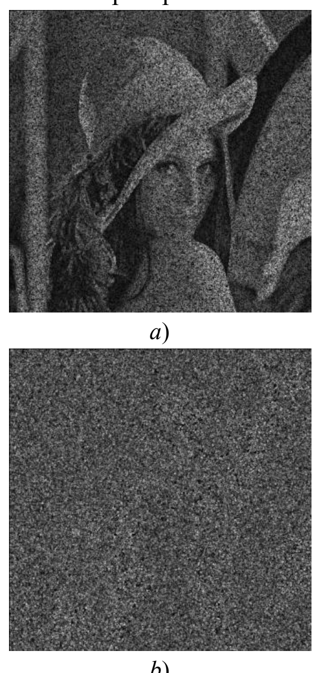
a)

b)

Рис. 2. Тестовое изображение, подвергшееся воздействию шума: «битые пиксели» (*a*); «соль-перец» (*b*)

Fig. 2. Test image exposed to noise: "dead pixels" (a); "salt-pepper" (b)

На рис. 3 приведены результаты обработки оператором *Собеля* изображений, представленных на рис. 2.



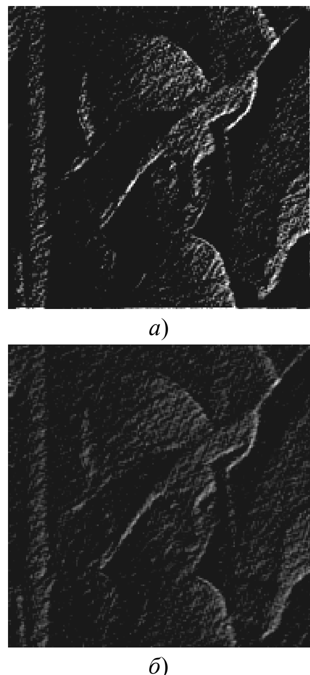
a)

b)

Рис. 3. Результаты обработки оператором *Собеля* тестового изображения, подвергшегося воздействию шума: «битые пиксели» (*a*); «соль-перец» (*b*)

Fig. 3. Results of processing test image exposed to noise: "dead pixels" (a); "salt-pepper" (b) by Sobel operator

На рис. 4 приведены результаты обработки методом сплайн-дифференцирования изображений, представленных на рис. 2.



а)

б)

Рис. 4. Результаты обработки методом сплайн-дифференцирования тестового изображения, подвергшегося воздействию шума: «битые пиксели» (*а*); «соль-перец» (*б*)

Fig. 4. Results of processing test image exposed to noise: "dead pixels" (a); "salt-pepper" (b) by spline-differentiation

Очевидно, что предложенный в работе алгоритм выделения контуров на базе сплайн-дифференцирования позволяет достаточно эффективно решить поставленную задачу. В таблицах 1, 2 приведены значения $e_{ско}$, *SNR* и *SNRF* для изображений *Lena*.

Таблица 1

Table 1

Значения $e_{ско}$, *SNR* и *SNRF* для изображения *Lena*, искаженного импульсным шумом «битые пиксели»

Values of $e_{ско}$, SNR, and SNRF for Lena image distorted by pulse noise of "dead pixels"

Критерий 1: выигрыш по среднеквадратическому отклонению $e_{ско}$, дБ									
Шум	СКО исходного изображения	Коэффициент сглаживания сплайн-функций							
		1	5	10	50	100	200	300	500
0,5	83,42	0,96	1,5	1,56	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
1	106,01	0,7	1,43	1,55	1,64	1,65	1,65	1,65	1,65
Критерий 2: выигрыш по отношению пиковый сигнал/шум *SNR*, дБ									
Шум	Отношение пиковый сигнал/шум исходного изображения	Коэффициент сглаживания сплайн-функций							
		1	5	10	50	100	200	300	500
0,5	2,51	2,52	5,14	5,85	6,85	7,15	7,59	7,82	8,06
1	3,15	1,74	4,55	5,54	7,26	7,85	8,27	8,45	8,61
Критерий 3: выигрыш по отношению пиковый сигнал/шум по СКО фона *SNRF*, дБ									
Шум	Отношение пиковый сигнал/шум по СКО фона	Коэффициент сглаживания сплайн-функций							
		1	5	10	50	100	200	300	500
0,5	2,85	3,71	6,5	7,36	8,96	9,65	10,57	11,07	11,7
1	3,39	2,78	5,69	6,77	8,69	9,49	10,2	10,57	11,0

Таблица 2

Table 2

Значения $e_{ско}$, *SNR* и *SNRF* для изображения *Lena*, искаженного импульсным шумом «соль-перец»

Values of $e_{ско}$, SNR, and SNRF for Lena image distorted by pulse noise of "salt – pepper" pixels"

Критерий 1: выигрыш по среднеквадратическому отклонению $e_{ско}$, дБ									
Шум	СКО исходного изображения	Коэффициент сглаживания сплайн-функций							
		1	5	10	50	100	200	300	500
0,5	85,48	1,29	1,84	1,92	1,96	1,97	1,97	1,97	1,97
1	108,51	1,65	2,46	2,6	2,72	2,73	2,73	2,74	2,74
Критерий 2: выигрыш по отношению пиковый сигнал/шум *SNR*, дБ									
Шум	Отношение пиковый сигнал/шум исходного изображения	Коэффициент сглаживания сплайн-функций							
		1	5	10	50	100	200	300	500
0,5	1,46	3,07	5,47	6,2	7,05	7,34	7,62	7,72	7,83
1	1,21	3,47	6,05	6,89	8,44	8,72	8,98	9,2	9,37
Критерий 3: выигрыш по отношению пиковый сигнал/шум по СКО фона *SNRF*, дБ									
Шум	Отношение пиковый сигнал/шум по СКО фона	Коэффициент сглаживания сплайн-функций							
		1	5	10	50	100	200	300	500
0,5	1,56	3,31	5,91	6,86	8,59	9,4	10,18	10,63	11,17
1	1,23	3,58	6,38	7,41	9,62	10,24	10,92	11,43	12,02

Для тестового изображения *Lena* выигрыш в децибелах составил:

– по СКО $e_{ско}$ — 1,6 ÷ 2,7;
– по отношению пиковый сигнал/шум *SNR* — 8 ÷ 9,4;
– по отношению пиковый сигнал/шум по СКО фона *SNRF* — 11 ÷ 12.

Таким образом, разработан и исследован новый метод выделения контуров изображений на фоне аддитивного импульсного шума с использованием математического аппарата сглаживающих кубических B-сплайнов. По сути, речь идет о возможности вычисления модуля (квадрата) градиента изображения с использованием сплайн-дифференцирования. Метод позволяет уйти от использования различных масок при выделении контуров изображений. При этом применение кубических нормализованных B-сплайнов в задаче дифференцирования двумерных сигналов имеет значительно более высокую помехоустойчивость, чем алгоритмы, основанные на стандартных процедурах дифференцирования.

Заключение. Эксплуатация систем технического зрения предполагает решение задач высокой сложности. Это объясняется частой сменой ситуации на исследуемой площади, разнородностью объектов, помехами и другими факторами. Выполнение высоких требований, предъявляемых к данным системам, напрямую связано с решением задачи повышения эффективности процесса цифровой обработки сигнала, регистрируемого датчиками автономных роботов. Одна из проблем априорно неизвестных условий наблюдения — наличие шума, обусловленного такими факторами, как дефекты системы регистрации, влияние окружающей среды и т. п. Предложенный впервые новый высокоточный метод цифрового дифференцирования сигналов позволяет с достаточно высокой точностью вычислять как значение самого сигнала, так и значения его производной. При этом нет необходимости использовать стандартные процедуры численного дифференцирования, которые сами по себе являются некорректными.

В условиях стремительного развития микропроцессорной техники по-новому применяются задачи, решаемые с помощью систем технического зрения. Это подтверждает актуальность исследований в области повышения эффективности и устойчивости методов и алгоритмов цифровой обработки двумерных сигналов. Экспериментальные исследования показали, что представленный в данной работе метод имеет значительно более высокую помехоустойчивость, чем алгоритмы, основанные на стандартных процедурах дифференцирования.

Библиографический список

1. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт. — Москва : Мир, 1982. — 312 с.
2. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. — Москва : Техносфера, 2005. — 1104 с.
3. Алберг, Дж. Теория сплайнов и ее приложения / Дж. Алберг, Э. Нильсон, Дж. Уолш. — Москва : Мир, 1972. — 316 с.
4. Завьялов, Ю. С. Методы сплайн-функций / Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошниченко. — Москва : Наука, 1980. — 350 с.
5. Безуглов, Д. А. Метод дифференцирования сигналов с использованием сплайн-аппроксимации / Д. А. Безуглов, В. А. Крутов, О. В. Швачко // Фундаментальные исследования. — 2017. — № 4, ч. 1. — С. 24 – 28.
6. Безуглов, Д. А. Сплайн-аппроксимация в задаче дифференцирования сигналов и изображений / Д. А. Безуглов, В. А. Крутов, О. В. Швачко // Современные наукоемкие технологии. — 2017. — № 4. — С. 17–22.
7. Bezuglov, D. A. Contour detection based on wavelet differentiation / D. A. Bezuglov, A. P. Kuzin, V. V. Voronin // Mobile Multimedia/Image Processing, Security, and Applications 2016 : Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering. — 2016. — P. 986–900.
8. Bezuglov, D. A. Method of discrete wavelet analysis of edges on the random background / D. A. Bezuglov, Y. D. Bezuglov, S. A. Shvidchenko // 22nd International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision : poster papers proceedings. — Plzen, 2014. — P. 15–19.
9. Inpainting strategies for reconstruction of missing data in images and videos: Techniques, algorithms and quality assessment / V. V. Voronin [et al.] Intelligent Information Technologies for Industry : Proceedings of the First International Scientific Conference. — Sochi, 2016. — Vol. 2. — P. 163–174.
10. Безуглов, Д. А. Обработка результатов измерений на базе аппроксимации плотности распределения сглаживающими кубическими В-сплайнами / Д. А. Безуглов, П. М. Поморцев, А. В. Скляров // Измерительная техника. — 2000. — № 9. — С. 32.
11. Безуглов, Д. А. Алгоритм восстановления волнового фронта на базе двумерных сглаживающих кубических нормализованных В-сплайнов / Д. А. Безуглов, А. В. Скляров // Оптика атмосферы и океана. — 2000. — Т. 13, № 8. — С. 770.
12. Алгоритмы оценивания негауссовских процессов на основе математического аппарата сглаживающих В сплайнов / Д. А. Безуглов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. — 2005. — № S4. — С. 99–106.
13. Субоптимальный алгоритм оценивания на основе аппарата сглаживающих В-сплайнов / Д. А. Безуглов [и др.] // Измерительная техника. — 2006. — № 10. — С. 14–17.
14. Безуглов, Д. А. Информационная технология вейвлет-дифференцирования результатов измерений на фоне шума Вестник компьютерных и информационных технологий / Д. А. Безуглов, С. А. Швидченко // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2011. — № 6 (84). — С. 42–45.
15. Выделение контуров изображений в информационных и управляющих системах с использованием метода вейвлет-преобразования / Д. А. Безуглов [и др.] // Нелинейный мир. — 2012. — № 11. — С. 846–852.
16. Безуглов, Д. А. Метод вейвлет-дифференцирования в задаче выделения контуров / Д. А. Безуглов, С. Ю. Рытиков, С. А. Швидченко // Успехи современной радиоэлектроники. — 2012. — № 6. — С. 52–57.
17. Информационная технология идентификации изображений / Д. А. Безуглов [и др.] // Фундаментальные исследования. — 2015. — № 2, ч. 16. — С. 3466–3470.

18. Безуглов, Д. А. Информационная технология выделения контуров изображений на фоне шума / Д. А. Безуглов, А. П. Кузин // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 2, ч. 2. — С. 190.

References

1. Pratt, W. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. [Digital image processing.] Moscow: Mir, 1982, 312 p. (in Russian).

2. Gonzalez, R., Woods, R. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. [Digital image processing.] Moscow: Tekhnosfera, 2005, 1104 p. (in Russian).

3. Ahlberg, J., Nilson, E., Walsh, J. Teoriya splaynov i ee prilozheniya. [The theory of splines and their applications.] Moscow: Mir, 1972, 316 p. (in Russian).

4. Zavyalov, Y.S., Kvasov, B.I., Miroshnichenko, V.L. Metody splayn-funktsiy. [Spline-function methods.] Moscow: Nauka, 1980, 350 p. (in Russian).

5. Bezuglov, D.A., Krutov, V.A., Shvachko, O.V. Metod differentsirovaniya signalov s ispol'zovaniem splayn-approksimatsii. [The method of differentiation of signals using spline-approximation.] Fundamental Research, 2017, no.4, part 1, pp. 24 – 28 (in Russian).

6. Bezuglov, D.A., Krutov, V.A., Shvachko, O.V. Splayn-approksimatsiya v zadache differentsirovaniya signalov i izobrazheniy. [Spline approximation in the problem of differentiation of signals and images.] Modern High Technologies, 2017, no. 4, pp. 17–22 (in Russian).

7. Bezuglov, D.A., Kuzin, A.P., Voronin, V.V. Contour detection based on wavelet differentiation. Mobile Multimedia/Image Processing, Security, and Applications, 2016: Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering, 2016, pp. 986–900.

8. Bezuglov, D.A., Bezuglov, Y.D., Shvidchenko, S.A. Method of discrete wavelet analysis of edges on the random background. 22nd International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision: poster papers proceedings. Plzen, 2014, pp. 15–19.

9. Voronin, V.V., et al. Inpainting strategies for reconstruction of missing data in images and videos: Techniques, algorithms and quality assessment. Intelligent Information Technologies for Industry: Proceedings of the First International Scientific Conference. Sochi, 2016, vol. 2, pp. 163–174.

10. Bezuglov, D.A., Pomortsev, P.M., Sklyarov, A.V. Obrabotka rezul'tatov izmereniy na baze approksimatsii plotnosti raspredeleniya sglazhivayushchimi kubicheskimi B-splaynami. [Processing of measurement results based on approximation of distribution density by smoothing cubic B-splines.] Measurement Technique, 2000, no. 9, pp. 32 (in Russian).

11. Bezuglov, D.A., Sklyarov, A.V. Algoritm vosstanovleniya volnovogo fronta na baze dvumernykh sglazhivayushchikh kubicheskikh normalizovannykh B-splaynov. [Algorithm for reconstructing the wave front on the basis of two-dimensional smoothing cubic normalized B-splines.] Atmospheric and Oceanic Optics, 2000, vol. 13, no. 8, pp. 770 (in Russian).

12. Bezuglov, D.A., et al. Algoritmy otsenivaniya negaussovskikh protsessov na osnove matematicheskogo apparata sglazhivayushchikh B-splaynov. [Algorithms for estimating non-Gaussian processes on the basis of mathematical apparatus of smoothing B-splines.] Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Natural Sciences. 2005, no. S4, pp. 99–106 (in Russian).

13. Bezuglov, D.A., et al. Suboptimal'nyy algoritm otsenivaniya na osnove apparata sglazhivayushchikh B-splaynov. [A suboptimal estimation algorithm based on smoothing B-splines.] Measurement Technique, 2006, no. 10, pp. 14–17 (in Russian).

14. Bezuglov, D.A., Shvidchenko, S.A. Informatsionnaya tekhnologiya veyvlet-differentsirovaniya rezul'tatov izmereniy na fone shuma. [Information technology of wavelet differentiation measurements results on the background noise.] Herald of Computer and Information Technologies, 2011, no. 6 (84), pp. 42–45 (in Russian).

15. Bezuglov, D., et al. Vydelenie konturov izobrazheniy v informatsionnykh i upravlyayushchikh sistemakh s ispol'zovaniem metoda veyvlet-preobrazovaniya. [Isolation of the contour image in information system and control system by using method of wavelet transform.] NonlinearWorld, 2012, no. 11, pp. 846–852 (in Russian).

16. Bezuglov, D.A., Rytikov, S.Y., Shvidchenko, S.A. Metod veyvlet-differentsirovaniya v zadache vydeleniya konturov. [Method of wavelet differentiation in the problem of allocation of contours.] Telecommunications and Radio Engineering, 2012, no. 6, pp. 52–57 (in Russian).

17. Bezuglov, D.A., et al. Informatsionnaya tekhnologiya identifikatsii izobrazheniy. [Information technology of identification picture.] Fundamental Research, 2015, no. 2, part 16, pp. 3466–3470 (in Russian).

18. Bezuglov, D.A., Kuzin, A.P. Informatsionnaya tekhnologiya vydeleniya konturov izobrazheniy na fone shuma. [Information technology of image edge detection in the noise condition.] Modern Problems of Science and Education, 2015, no. 2, part 2, pp. 190 (in Russian).

Поступила в редакцию 10.07.2017
Сдана в редакцию 11.07.2017
Запланирована в номер 05.10.2017

Received 10.07.2017
Submitted 11.07.2017
Scheduled in the issue 05.10.2017

Об авторах:

Крутов Владимир Алексеевич,
аспирант института сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Донского государственного технического университета (РФ, 346500, г. Шахты, ул. Шевченко, 147),
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-3284-4366
rostov_don@mail.ru

Безуглов Дмитрий Анатольевич,
заместитель директора по научной работе Ростовского филиала Российской таможенной академии (РФ, 344002, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, д. 20), доктор физико-математических наук, профессор,
ORCID: http://orcid.org /0000-0001-9991-4707
bezuglovda@mail.ru

Швачко Олег Викторович,
старший научный сотрудник научно-технического отдела Федерального казенного учреждения Научно-производственное объединение «Специальная техника и связь» Министерства внутренних дел Российской Федерации (РФ, 344113, г. Ростов-на-Дону, ул. Добровольского, д. 11/7), кандидат физико-математических наук,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-7496-3083
stis-rostov6@mail.ru

Authors:

Krutov, Vladimir A.,
postgraduate student of Institute of Service and Business (DSTU branch) (RF, 346500, Shakhty, ul. Shevchenko, 147),
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-3284-4366
rostov_don@mail.ru

Bezuglov, Dmitry A.,
associate director on research, Russian Customs Academy, Rostov Branch (RF, 344002, Rostov-on-Don, Budennovskiy pr., 20), Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor,
ORCID: http://orcid.org /0000-0001-9991-4707
bezuglovda@mail.ru

Shvachko, Oleg V.,
senior research scholar of the Research and Technology Department, Scientific and Production Association "Special Equipment and Telecoms", Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation (RF, 344113, Rostov-on-Don, ul. Dobrovolskogo, 11/7), Cand.Sci. (Phys.-Math.),
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-7496-3083
stis-rostov6@mail.ru